

этом направлении является важной и актуальной для обеспечения безопасной жизнедеятельности народа Украины.

1.Отдікач М. Теорія і практика в одному тілі // Надзвичайна ситуація. – 2004. – №1. – С.56-57.

2.Денисова О., Климаць Р. Сучасний стан із пожежами в Україні та наслідки від них // Пожежна безпека. – 2004. – №8. – С.20-21.

3.Алехин Е.М. и др. Пожары в России и в мире. Статистика, анализ, прогнозы. – М., 2002. – 157 с.

4.Рева Г.В. Поступ реформування: реалії та перспективи. Оцінка техногенної та природної безпеки в Україні // Надзвичайна ситуація. – 2004. – №6. – С.5-10.

5. Безродный Н.Д. и др. Тушение нефти и нефтепродуктов. – М.: ВНИИПО, 1996. – 216 с.

6.Бабенко Ю.В. та ін. Протипожежний захист складів нафти і нафтопродуктів (Оглядова інформація). – К.: УкрНДІПБ, 2002. – 96 с.

*Получено 15.11.2004*

УДК 355

М.І.АДАМЕНКО, канд. техн. наук

*Факультет військової підготовки Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури*

## **ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ РЕЗЕРВУАРУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ПОЖЕЖЕГАСІННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Зіставлено внески у витікання рідини з балону, обумовлені розширенням рідини і газу. Приведено вирази для відносного обсягу газу в балоні, що необхідний для витіснення всієї рідини з балону. Отримано повну систему рівнянь, що описує нестационарне витікання в'язкої рідини з балону під дією газу, що розширюється.

Останні події на спецоб'єктах класу „арсенал”, „сховище вибухових речовин” (Артемівськ, Новобогданівка) свідчать про необхідність створення системи автоматичного пожежегасіння нового типу, яка була б спеціально призначена для гасіння пожеж на таких об'єктах. У попередніх публікаціях було розглянуто можливість створення таких систем з використанням порохового акумулятору тиску [1], але створення такої системи потребує окремого розрахунку балону-резервуару для зберігання вогнегасячої рідини.

Подібні наукові задачі були розглянуті у класичних працях, присвячених розрахункам систем пожежного водопостачання та пожежегасіння [2-4], але враховуючи особливості запропонованої системи, класичні розрахунки неповністю задовольняють розробників.

Розглянемо розширення стиснутої в балоні речовини. Нехай у початковий момент часу газ у балоні займав обсяг  $V_{г,н}$ , а рідина – обсяг  $V_{р,н}$ . При цьому засувка, що регулює зв'язок речовини в балоні з атмосферою, була закрита, а речовина в балоні (газ і рідина) була стиснута

до тиску  $P_n$ .

Будемо вважати, що тиск у балоні досить великий, так що можна не враховувати залежність тиску в рідині від відстані до її поверхні. У воді занурення на 1 м призводить до зміни тиску на величину порядку 0,1 ат, що, як правило, істотно менше тиску в балоні.

Знайдемо, яким буде обсяг газу  $V_{г.к.}$  і рідини  $V_{р.к.}$  після того, як засувка буде відкритою і кінцевий тиск у газі і рідині  $P_k$  буде дорівнювати атмосферному  $P_a = 1$  ат.

Відповідно до закону збереження маси маємо

$$V_n \rho_n = V_k \rho_k, \quad (1)$$

де  $V_n$  і  $V_k$  – відповідно початковий і кінцевий обсяг газу (рідини);  $\rho_n$  і  $\rho_k$  – відповідно початкова і кінцева щільність газу (рідини). Рівняння (1) можна переписати у вигляді

$$V_k = V_n \left( 1 + \frac{\Delta \rho}{\rho_k} \right), \quad (2)$$

де

$$\Delta \rho = \rho_n - \rho_k. \quad (3)$$

Враховуючи, що швидкість звуку в газі (рідині)  $C$  визначається рівністю

$$\frac{\partial P}{\partial \rho} = C^2, \quad (4)$$

одержимо зв'язок між зміною щільності  $\Delta \rho$  і зміною тиску

$$\Delta \rho = \int_{\rho_n}^{\rho_k} \frac{\partial P}{C^2(\rho)}. \quad (5)$$

Із співвідношення (5) маємо

$$\Delta \rho = \frac{1}{C^2} \Delta P, \quad (6)$$

де  $\overline{C^2}$  – середнє значення квадрата швидкості звуку, а зміна тиску

$$\Delta P = P_n - P_k. \quad (7)$$

Підстановка (6) у (2) дає

$$V_k = V_n \left( 1 + \frac{\Delta P}{\overline{C^2} \rho_k} \right). \quad (8)$$

Для води при атмосферному тиску  $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ , а  $C_p = 1,45 \cdot 10^5 \text{ см/с}$ . При  $\Delta P = 10 \text{ ат} = 10^7 \text{ дн/см}^2$ , із зазначеними чисельними значеннями, відносна зміна обсягу води при розширенні дорівнює

$$\frac{\Delta P}{C_p^2 \rho_p} = 5 \cdot 10^{-4}. \quad (9)$$

Величина (9) настільки мала, що нею можна знехтувати. Так, при розширенні 1000 л ( $V_{p.n.} = 1 \text{ м}^3$ ) стиснутої до 11 ат води при відсутності газу в балоні ( $V_{г.н.} = 0$ ) в атмосферу витісниться з балона тільки 0,5 л.

Для повітря при атмосферному тиску  $\rho_g = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$ , а  $C_g = 3,3 \cdot 10^4 \text{ см/с}$ . При 10 ат із зазначеними значеннями відносна зміна обсягу при розширенні повітря дорівнює

$$\frac{\Delta P}{C_g^2 \rho_g} = 7,2. \quad (10)$$

У підсумку кінцевий обсяг повітря при атмосферних умовах буде в 8 разів більше обсягу стиснутого до 11 ат повітря.

Мале відношення відносних змін обсягів при розширенні рідини і газу

$$\frac{\Delta \rho_p / \rho_p}{\Delta \rho_g / \rho_g} = \frac{C_g^2 \rho_g}{C_p^2 \rho_p} \quad (11)$$

дозволяє не враховувати стискання рідини і вважати, що при відкритій засувці рідина з балона буде витіснитися тільки за рахунок розширення газу.

Знайдемо, який відносний обсяг повинний займати газ при тиску  $P_n$ , щоб витиснути всю рідину з балона в атмосферу. Вихідним при цьому є рівняння Клапейрона, відповідно до якого

$$\frac{P_n V_{г.н.}}{T_{г.н.}} = \frac{P_k V_{г.к.}}{T_{г.к.}}, \quad (12)$$

де  $T_{г.н.}$  і  $T_{г.к.}$  – відповідно початкова і кінцева температури газу. Використані гази при адіабатичному розширенні (без теплообміну з навколишнім середовищем) охолоджуються. Оскільки  $V_{г.н.} < V_{г.к.}$ , то при адіабатичному розширенні  $T_{г.н.} > T_{г.к.}$ . При витисненні рідини з балона газом, що розширюється, відбувається теплообмін газу з рідиною і стінками балона. Ця обставина дозволяє вважати процес близьким до

ізоермічного, при якому  $T_{\text{з.н.}} = T_{\text{з.к.}}$ . Відзначимо, що згідно з (12) кінцеве значення тиску при адіабатичному процесі буде менше кінцевого значення тиску при ізоермічному процесі.

Вважаючи в (12)  $V_{\text{з.к.}}$  рівним обсягу балона, із співвідношень (12) і

$$V_{\text{з.к.}} = V_{\text{б}} = V_{\text{з.н.}} + V_{\text{п.н.}} \quad (13)$$

в ізоермічному режимі одержимо

$$\frac{V_{\text{з.н.}}}{V_{\text{п.н.}}} = \frac{P_{\text{к}}}{P_{\text{н}} - P_{\text{к}}} \quad (14)$$

Для того, щоб рідина в результаті розширення газу була цілком витіснена з балону в атмосферу,  $P_{\text{к}}$  має бути більше атмосферного тиску  $P_{\text{а}} = 1$  ат. Наприклад, при  $P_{\text{н}} = 10$  ат і мінімальному значенні  $P_{\text{к}} = P_{\text{а}}$  з рівності (13) одержимо  $V_{\text{з.н.}} / V_{\text{п.н.}} = 1/9$ .

Складемо вихідну систему рівнянь, що описує витікання рідини з балона при розширенні газу. Розглянемо витікання рідини з балона по трубці, закріпленої в його нижній частині, під дією газу, що розширюється, який знаходиться у верхній частині балона. Очевидно, що витрата рідини та інші характеристики витікання визначаються нестационарним рухом в'язкої рідини по трубці під дією газу, що розширюється. Повна система рівнянь, що описує такий рух, має вигляд:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \vartheta \Delta V + \frac{\beta}{\rho} \cdot \frac{P_0(t) - P_{\text{а}}}{L}; \quad (15)$$

$$\frac{\partial P_0}{\partial t} = -\frac{P_0^2}{A} \int_0^a V(r, t) 2\pi r dr \quad (16)$$

з граничною умовою

$$V(r, t) \Big|_{r=a} = 0 \quad (17)$$

і початковою умовою

$$P_0(t=0) = P_{\text{н}}; V(r, t=0) = 0. \quad (18)$$

Тут  $\vartheta$  і  $\rho$  – відповідно кінематична в'язкість і щільність рідини;  $V$  – швидкість руху рідини уздовж осі труби кругового перетину з радіусом  $a$  і довжиною  $L$ ;  $P_{\text{а}}$  – атмосферний тиск;  $P_0(t)$  – тиск, що створює газ у балоні. Залежність  $P_0(t)$ , згідно з (16), визначається зміною обсягу газу при його розширенні в балоні, що дорівнює обсягу рідини

$$Q(t) = \int_0^a V(r, t) 2\pi r dr, \quad (19)$$

що протікає в одиницю часу через поперечний переріз труби. Константа  $A$  визначається рівнянням Клапейрона. Чисельне значення параметра  $\beta$  визначається умовами витікання рідини з кінця труби в атмосферу і ступенем відкриття засувки, що регулює зв'язок рідини в балоні з атмосферою. Параметр  $\beta$  лежить в інтервалі  $0 \leq \beta \leq 1$ . Максимальному значенню  $\beta=1$  відповідає цілком відкрита засувка, радіус отвору якої дорівнює радіусу труби  $a$ , і миттєве поглинання рідини, що впливає з кінця труби в атмосферу, так що на кінці труби тиск дорівнює атмосферному  $P_a$ . Мінімальному значенню  $\beta=0$  відповідає закритий кінець труби або закрыта засувка, коли рішенням системи (15), (16) з умовами (17), (18) є  $V=0$  і  $P_0=P_n$ .

Початкова умова (18) відповідає відкриттю засувки в момент часу  $t=0$ , коли рідина знаходиться у стані спокою, а газ в балоні стиснуто до початкового тиску  $P_n$ .

При отриманні рівнянь (15), (16) не враховувався гідростатичний тиск рідини в балоні. Врахування гідростатичного тиску не викликає принципових труднощів. Однак, це призведе до ускладнення рівнянь, що тут недоцільно, оскільки гідростатичний тиск у наших умовах, як правило, малий в порівнянні з тиском  $P_0$  газу в балоні.

Рішення інтегрально-диференційної системи рівнянь (15), (16) у загальному випадку є досить складною математичною задачею. Тим часом існує два граничних випадки витікання з балонів з малими і великими обсягами, коли задача істотно спрощується. Рішенням цих задач будуть присвячені наступні роботи автора. Розв'язання поставленої наукової задачі дасть теоретичне підґрунтя для розробки та проектування запропонованих пристроїв.

Таким чином, показано (див. рівняння (11)), що при розглянутих умовах стиснення рідини можливо знехтувати. Наведено вираз (14), який дає відносний обсяг газу в резервуарі, що необхідний для витіснення всієї рідини з резервуару. Вперше отримана система інтегрально-диференційних рівнянь (15), (16) з граничною умовою (17) і початковою умовою (18), що описує нестационарне витікання в'язкої рідини з резервуару під дією газу, що розширюється.

1. Адаменко М.І., Федюк І.Б., Нова методика пожежегасіння складів вибухових речовин // Збірник наукових праць Львівського інституту пожежної безпеки, 2004 рік (у друці).

2. Качалов А.А., Воротынцев Ю.П., Власов А.В. Противопожарное водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1985. – 374 с.

3. Болотин Е.Т., Можара И.Н. Проектирование установок автоматического пожаротушения. – К.: Будівельник, 1980. – 422 с.

4.Алексеев П.П., Бубырь Н.Ф., Кашеев Н.Б., Максимов Б.А., Новиков Г.К., Петров К.К., Трушин Е.Л. Машины и аппараты пожаротушения. – М., 1972. – 247 с.

*Отримано 16.11.2004*

УДК 355

О.В.ГЕЛЕТА, канд. техн. наук

*Факультет військової підготовки Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури*

## **ОСНОВЫ РОЗРАХУНКУ РЕСУРСІВ ДЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ У МЕГАПОЛІСАХ**

Розглядається класифікація надзвичайних ситуацій техногенного характеру за їх сутністю та масштабністю, наведено основи розрахунку ресурсів, призначених для їх ліквідації.

Останнім часом у великих містах (мегаполісах) зберігається тенденція до зниження загального рівня безпеки, розширення спектру і різноманіття внутрішніх і зовнішніх загроз, діючих як в рамках перехідного періоду, що переживає Україна, так і в умовах ускладнення деяких міждержавних відносин в цілому. З розвитком міждержавного тероризму терористичні акти все частіше переходять із сфери можливих загроз у сферу реальних надзвичайних ситуацій. Спостерігається тенденція активізації діяльності терористичних угруповань у закордонних країнах, у тому числі і в Україні. В умовах щільної міської забудови, високої концентрації промислових об'єктів у великих містах особливу небезпеку являє можливість ініціювання в них техногенних катастроф і застосування засобів масового ураження. При ослабленні державного нагляду, недостатній ефективності правових і економічних механізмів попередження і ліквідації надзвичайних ситуацій ризик катастроф техногенного і природного характеру стає дуже імовірним.

Кількісний фактор аварій та катастроф техногенного характеру у мегаполісах є дуже вагомим і, ймовірно, буде зростати з подальшою техногенізацією усіх сфер міського господарства.

Розглянемо класифікацію надзвичайних ситуацій техногенного характеру, які виникають у мегаполісах, за їх сутністю (рисунк) [1-3].

Необхідно також класифікувати надзвичайні ситуації (НС) у мегаполісах за масштабом можливих наслідків [4], з урахуванням територіального поширення, характеру сил і засобів, що залучаються для ліквідації наслідків, а саме:

*НС загальнодержавного рівня* – коли надзвичайна ситуація розвивається на території двох та більше областей або загрожує транскор-